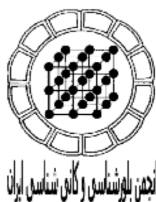
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۹، از صفحهٔ ۶۷۵ تا ۶۸۴



هوادیدگی زیستی کانی رسی سپیولیت در اثر فعالیت گونه‌ای از کرم خاکی (ایزینیا فوتیدا)

فریبا جعفری*، حسین خادمی

گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۸/۷/۸، نسخه نهایی: ۹۸/۱۰/۱۷)

چکیده: سپیولیت، کانی رسی الیافی منیزیم‌دار در خاک‌های کشاورزی مناطق خشک است. پژوهش‌های بسیاری پیرامون تشکیل و پایداری این کانی انجام شده است، اما اطلاعاتی در زمینه تغییرات کانی‌شناسی این کانی توسط کرم‌های خاکی وجود ندارد. از این رو، در این پژوهش هوادیدگی زیستی کانی سپیولیت در اثر فعالیت کرم خاکی ایزینیا فوتیدا با دو عامل بود و نبود کرم خاکی و زمان (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) بررسی شد. در پایان آزمایش، مقدار منیزیم قابل استفاده اندازه‌گیری گردید و تغییرات کانیشناسی رسی با استفاده از پراش‌نگار پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی بررسی شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای دربردارنده کرم خاکی، کانی سپیولیت به کانی کائولینیت هوادیده شده است. همچنین، دیده شد که با گذشت زمان، مقدار منیزیم قابل استفاده در همه تیمارها کاهش یافته است که با افزایش کانی دولومیت می‌توان برداشت کرد که با هوادیدگی سپیولیت، منیزیم محلول افزایش یافته و با کلسیم موجود در محیط تولید دولومیت کرده است.

واژه‌های کلیدی: *سپیولیت؛ هوادیدگی؛ ایزینیا فوتیدا؛ کانی الیافی.*

مقدمه

هوادیدگی کانی‌های خاک در واقع منبع اصلی عناصر غذایی برای گیاهان است [۱]. پالیگورسکیت و سپیولیت از نوع رس-های الیافی غنی از منیزیم هستند که اغلب در خاک‌های کشاورزی مناطق خشک وجود دارند [۲]. همچنین، این کانی‌ها به طور گسترده در خاک‌ها و رسوب‌های خاورمیانه، شمال آفریقا، ایالات متحده آمریکا و استرالیا دیده شده‌اند [۳]. کانی سپیولیت با فرمول شیمیایی $Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4.8H_2O$ از مجموعه کانی‌های ۲:۱ بوده و مقدار منیزیم آن از ۲۱۰ تا ۲۵۰ گرم در هر کیلوگرم متغیر است و این عنصر حدود ۹۰ تا ۱۰۰ درصد از کل جایگاه‌های هشت وجهی را در ساختار این کانی پر می‌کند. به این ترتیب، این کانی را می‌توان یک کانی الیافی سه هشت وجهی دانست [۴]. این کانی از آن‌جا که غنی از منیزیم و به نسبت ناپایدار است، می‌تواند شیمی عنصر منیزیم را کنترل کرده و حتی بر ترکیب محلول خاک و کاتیون‌های تبادلی اثر گذار باشد [۵].

تاکنون پژوهش‌هایی پیرامون هوادیدگی زیستی و آزادسازی منیزیم از کانی‌های الیافی، توسط خادمی و آروسینا [۲]، بخشنده و همکاران [۶] و صالحی و تهمتنی [۷] انجام شده است. خادمی و آروسینا [۲] تغییر شکل کانی‌های منیزیم‌دار پالیگورسکیت و سپیولیت در اثر ماده آلی و در ریشه گاه سه گیاه جو، یونجه و کلزا را بررسی کردند. بر این اساس، مقدار جذب منیزیم توسط گیاه در بستر سپیولیت بیشتر از پالیگورسکیت بود که این امر پایداری بیشتر پالیگورسکیت نسبت به هوادیدگی را نشان داد. افزون بر این، جذب منیزیم در حضور ماده آلی به‌طور محسوسی در بستر کشت سپیولیت افزایش یافت. این پژوهشگران تشکیل کانی کائولینیت را در نتیجه ویژگی‌های ریشه گاه از جمله قدرت اسیدی بالا و جذب

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۴۳۶۳۶۶، پست الکترونیکی: f.jafarii@ag.iut.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

منیزیم توسط گیاه به اثبات رساندند و افزایش قدرت اسیدی را به اثر ریشه گیاه و تجزیه ماده آلی نسبت دادند. بخشنده و همکاران [۶] در بررسی هوادیدگی کانی پالیگورسکیت در ریشه گاه گیاه سورگوم، مشاهده کردند که فعالیت ریشه و باکتری حل کننده سیلیکات منجربه افزایش قدرت اسیدی محیط ریشه گاه و سرانجام باعث آزادسازی منیزیم از بین لایه‌های کانی می‌شوند. صالحی و تهمتنی [۷] با بررسی تغییرات کانی-شناسی پالیگوسکیت در محیط کشت دو گیاه گندم و یولاف نشان دادند که هیچ گونه تغییر کانی‌شناسی در ارتباط با تشکیل کانی جدید در محیط ریشه گاه این دو گیاه رخ نداده است، اما، ایشان وجود منیزیم در بافت گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی بدون منیزیم را دلیلی بر تخریب ساختار پالیگورسکیت در اثر ریشه گاه این گیاهان دانستند و تشکیل نشدن کانی جدید را به کم بودن زمان دوره کشت نسبت دادند. گیاهان می‌توانند شرایط هوادیدگی را به ویژه در محیط ریشه از طریق کاهش قدرت اسیدی خاک، افزایش تعداد لیگاندها و کاهش غلظت عناصر در محلول خاک تغییر دهند [۸].

درشت جانداران‌های خاک نقش مهمی در تغییرات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک دارند [۹] و کرم‌های خاکی جزء مهمی از آنها محسوب می‌شوند که با توجه به فعالیت های زیستی و غیر زیستی به عنوان "مهندسین بوم سامانه" رده‌بندی می‌شوند [۱۰، ۱۱]. نقش کرم‌های خاکی در هوادیدگی کانی‌ها توسط بسیاری از پژوهشگران بررسی شده است.

سوزوکی و همکاران [۱۲] هوادیدگی فیزیکی مواد معدنی در اثر کرم‌های خاکی را بررسی کرده و بیان داشتند که تنها با گذشت یک شبانه روز از تغذیه کرم‌های خاکی، مواد معدنی به صورت ذرات گرد شده در آمده‌اند. کارپنتر و همکاران [۱۳] پژوهشی پیرامون سرعت هوادیدگی مواد معدنی آنورتیت، بیوتیت، الیوین، اسمکتیت و کائولینیت توسط کرم خاکی ایزینیا ونیتا انجام دادند. نتایج آنها بیانگر هوادیدگی آنورتیت، بیوتیت، اسمکتیت و کائولینیت طی یک گستره زمانی ۶ ماهه بود. هادسون و همکاران [۱۴] نیز سرعت هوادیدگی مواد معدنی توسط کرم‌های خاکی ایزینیا ونیتا، آلولوبوفورا کلوروتیکا و لومبریکوس ترستریس را بررسی کرده و گزارش نمودند که ایزینیا ونیتا و آلولوبوفورا کلوروتیکا آشکارا طی یک دوره شش ماهه می‌توانند سرعت هوادیدگی مواد معدنی را تسریع بخشند، اما لومبریکوس ترستریس کمترین میزان هوادیدگی را نشان داد که به مقدار زیاد کوارتز در بستر کشت نسبت دادند.

برخی از پژوهشگران رهاسازی عناصری چون پتاسیم و سیلیس از کانی‌های خاک را در اثر فعالیت‌های کرم خاکی بررسی کردند [۱۵-۱۷]. چو و همکاران [۱۶] با بررسی اثر فعالیت کرم‌های خاکی ایزینیا فوتیدا بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار نشان دادند که مقدار پتاسیم قابل استفاده در تیمارهای کود دامی بهمراه کانی پتاسیم‌دار به طور معنی-داری بیش از تیمار شاهد است. بیتاتاسکای و همکاران [۱۵] طی پژوهشی با تیمارهای مختلف (با و بدون کربنات کلسیم و با و بدون کرم خاکی) نشان دادند که بطورکلی کرم‌های خاکی امکان استفاده سیلیس در خاک را افزایش می‌دهند. در واقع، کرم‌های خاکی به واسطه ترشح لیگاندهای آلی توسط دستگاه گوارش و جوامع میکروبی موجود در آن و فعالیت‌های مکانیکی دستگاه گوارش خود، موجب هوادیدگی مواد معدنی می‌شوند [۱۳، ۱۸].

با وجود اثر کرم‌های خاکی بر هوادیدگی مواد معدنی خاک و رهاسازی عناصر غذایی، تا کنون پژوهشی پیرامون تغییرات کانی‌شناسی و رها سازی عناصر از کانی‌های الیافی در اثر کرم-های خاکی انجام نشده است. از این رو در این پژوهش، هوادیدگی کانی الیافی سپیولیت و مقدار منیزیم آزاد شده از آن در اثر کرم خاکی ایزنیا فوتیدا و طی زمان‌های مختلف (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) بررسی شد.

روش کار

تهیه و آماده‌سازی مواد

سپیولیت (کانی الیافی) مورد استفاده در این پژوهش از معدنی در شهرستان یزد تهیه شد. نمونه تهیه شده آسیاب و پودر گردید و پس از عبور از الک ۲۷۰ مش، ذرات کوچکتر از ۵۳ میکرومتر برای انجام آزمایش انتخاب شد. به این ترتیب، کانی مورد استفاده در آزمایش اندازه لای ریز تا رس درشت را دارد.

در این پژوهش، از کرم خاکی ایزینیافوتیدا استفاده شد. کرم‌های خاکی بالغ تهیه شده را چند بار با آب مقطر شسته و سپس به مدت ۳۶ ساعت درون ظرف‌های دارای کاغذ صافی نمناک قرار دادیم تا مواد دستگاه گوارش آنها تخلیه شوند [۱۳].

کود گاوی بعنوان منبع غذایی کرم‌های خاکی از مزرعه پژوهش‌هایی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شد و برای کاهش آمونیاک و ذرات معدنی احتمالی موجود در آن، چندین مرحله شسته و خشک گردید و سرانجام از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

طراحی آزمایش

این پژوهش به صورت طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه تکرار در ظرف‌های پلاستیکی انجام شد. عوامل این آزمایش شامل عوامل با و بدون کرم خاکی و عوامل تاثیر زمان (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) هستند.

برای هر ظرف پلاستیکی، مقدار ۲۰ گرم مخلوط ۸۵ درصد کود گاوی و ۱۵ درصد کانی در نظر گرفته شد. تعداد ۸ کرم خاکی بالغ به هر یک از ظرف‌های تیمار اضافه گردید [۱۳] (جدول ۱). همه ظرف‌ها طی آزمایش در شرایطی بهینه از نظر دما و رطوبت و در محیطی تاریک با تهویه مناسب نگهداری شدند.

تحلیل‌های آزمایشگاهی

در پایان هر دوره زمانی، ۶ ظرف جدا شده کرم‌های خاکی از آن حذف گردیدند و سپس مواد درون آنها در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد خشک شده و از یک غربال ۲ میلیمتری عبور داده شدند. پس از عصاره‌گیری همه نمونه‌ها به ترتیب با آمونیوم استات یک نرمال و اسید نیتریک یک مولار، منیزیم قابل استفاده و منیزیم قابل استخراج با اسید نیتریک [۱۹] به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شدند.

به منظور بررسی دگرگونی‌های کانی سپیولیت موجود در تیمارها، پیش از پراش پرتوی X (XRD)، از آب مقطر، مخلوط اسید استیک و استات سدیم (pH= 5)، آب اکسیژنه ۳۰٪ و سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات به ترتیب برای حذف نمک‌های محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آزاد آهن استفاده شد [۲۰]. ذرات رس (کمتر از ۲ میکرون) نمونه‌ها نیز توسط دستگاه سانتریفیوژ با ۲۰۰۰ دور به مدت ۵ دقیقه جداسازی شدند. سپس، تیغه‌های ۴ تیمار منیزیم اشباع، منیزیم اشباع- اتیلن گلیکول، پتاسیم اشباع و پتاسیم اشباع- ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده و پراش نگاشت‌های پرتو ایکس آنها با استفاده از دستگاه XRD نوع Bruker مدل AXS D8 با لامپ مس با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی آمپر تهیه گردید. بررسی کانی‌شناسی نمونه‌ها در دانشگاه Cartagena کشور اسپانیا انجام شد.

همچنین، برای بررسی تغییرات ایجاد شده در ریختار رس سپیولیت، از نمونه‌های رس تیمارهای پایان دوره ۱۸۰ روز، پس از پوشش‌دهی با طلا و نصب بر پایه آلومینیومی با میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی (FESEM) عکسبرداری شد.

تحلیل‌های آماری

پس از انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی، به منظور تحلیل نتایج و به دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده توسط آزمون کمترین تفاوت معنی دار (LSD) در سطح اطمینان ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی پراش پرتو ایکس سوبسترا پیش از انجام آزمایش

الگوی XRD بخش رس سوبسترا پیش از انجام آزمایش (EW,0d–) در شکل ۱ نشان داده شده است. بطورکلی، پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس بیانگر حضور کانی سپیولیت به مقدار فراوان و کانی‌های میکا،کلریت و دولومیت به مقدار جزئی است. سپیولیت در بررسی‌های پرتوی ایکس دارای سه قله با فاصله بین صفحه ای (d) ۱٫۲، ۰٫۶۶ و ۰٫۴۴ نانومتر است که تیمار گرمادهی تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث متلاشی شدن کانی و حذف این قله‌ها می‌شود [۲]. وجود قله با d = ۱٫۴nm در تیمار منیزیم اشباع و تغییر نکردن مکان آن در تیمار اتیلن گلیکول نشان دهنده کانی کلریت است. همچنین در تیمار منیزیم اشباع، حضور قله‌های ۱٫۰، ۰٫۵ و ۰٫۳۳ نانومتر بیانگر حضور کانی میکایی بوده [۲۱] و سرانجام قله ۰٫۲۸ نانومتر در تیمار منیزیم اشباع نشانگر حضور کانی دولومیت است.

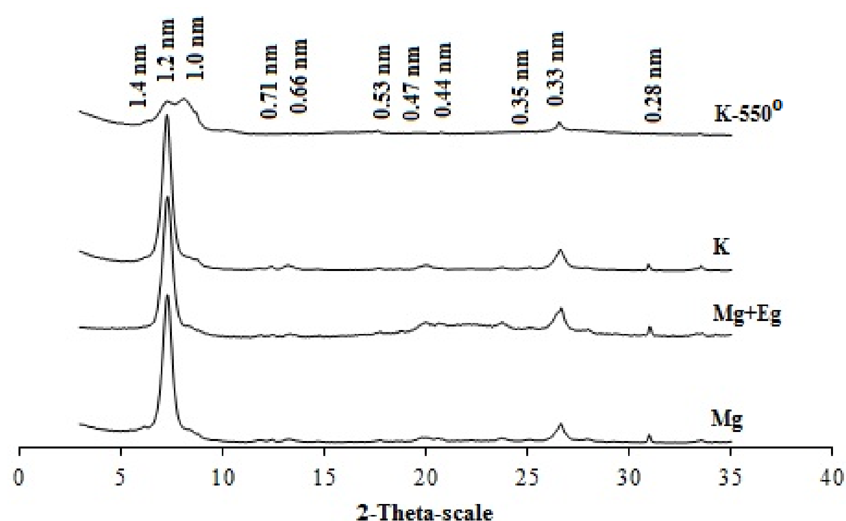
البته گفتنی است که سپیولیت تهیه شده تقریبا خالص بوده و با توجه به مقدار بسیار ناچیز ذرات رس موجود در کود دامی، از نمونه سپیولیت به همراه کود دامی در ابتدای آزمایش (EW,0d–) بعنوان شاهد استفاده شد.

جدول ۱ تیمارها و ترکیبات تشکیل دهنده آنها.

تیمار	ترکیبات تشکیل دهنده	دوره (روز)
-EW,0d	۳ گرم سپیولیت+ ۱۷ گرم کود گاوی	۰
+EW	۳ گرم سپیولیت+ ۱۷ گرم کود گاوی +کرم خاکی ایزینیا فوتیدا	۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰
-EW	۳ گرم سپیولیت+ ۱۷ گرم کود گاوی	۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

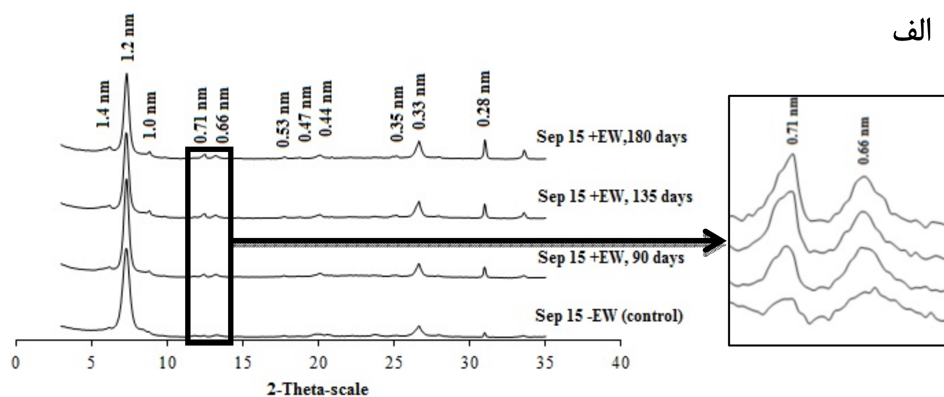


شکل ۱ پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس رس نمونه شاهد. (Mg نمونه اشباع با منیزیم، Mg-Eg: نمونه اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: نمونه اشباع با پتاسیم و K-550°: نمونه اشباع با پتاسیم و گرمادهی شده تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد).

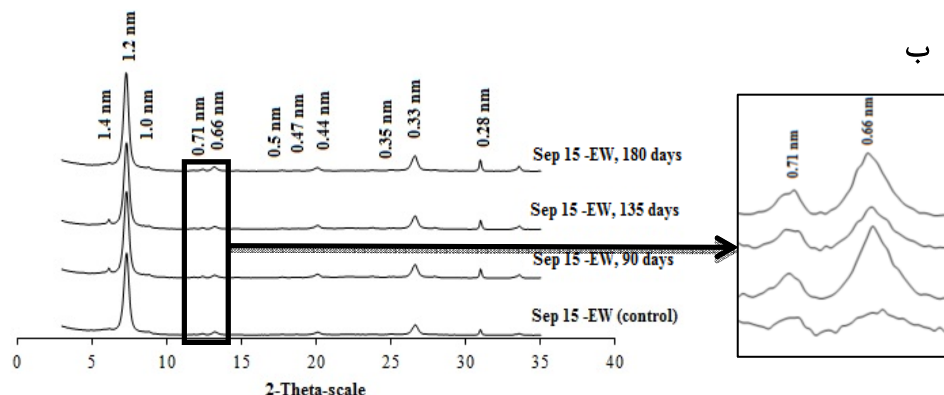
بررسی تاثیر کرم‌های خاکی ایزینیا فوتیدا بر تغییرات کانی شناسی بستر شامل کانی سپیولیت

پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس نمونه‌های اشباع با منیزیم (Mg) تیمارهای دارای سپیولیت و فرآورده‌های هوادیدگی احتمالی آن در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری با و بدون کرم خاکی در مقایسه با نمونه شاهد (-EW,0d) در شکل ۲ آورده شده‌اند.

الف



ب



شکل ۲ پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس از نمونه‌های منیزیم-اشباع (Mg) تیمارهای دارای سپیولیت و فراورده‌های هوادیدگی احتمالی آن در زمان-های مختلف نمونه‌برداری و در شرایط با (الف) و بدون (ب) کرم خاکی در مقایسه با نمونه شاهد (کنترل).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

با وجود کرم‌های خاکی (+EW) (شکل ۲، الف) با گذشت زمان نمونه‌برداری (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز)، شدت قله‌های ۰/۷۱ نانومتر که مربوط به کانی کائولینیت و ۰/۲۸ نانومتر که مربوط به کانی دولومیت هستند، نسبت به تیمار شاهد تا حدی بیشتر شده است. البته باید در نظر داشت که قله مرتبه دوم کلرایت با قله مرتبه اول کائولینیت همپوشی دارند (۰/۷۱ نانومتر) که با توجه به نبود این قله در تیمارهای بدون کرم خاکی (شکل ۲، ب)، می‌توان افزایش شدت این قله را به تشکیل کانی کائولینیت ناشی از فعالیت‌های کرم‌های خاکی نسبت داد. از سوی دیگر، در تیمارهای بدون کرم خاکی (–EW) (شکل ۲ ب) تغییرات ناچیزی نیز در قله ۰/۲۸ نانومتر در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) دیده می‌شود. نتایج تغییرات شدت قله‌های شاهد نسبت به قله‌های تیمارها (جدول ۲) نیز این نتایج را به خوبی تایید می‌کند.

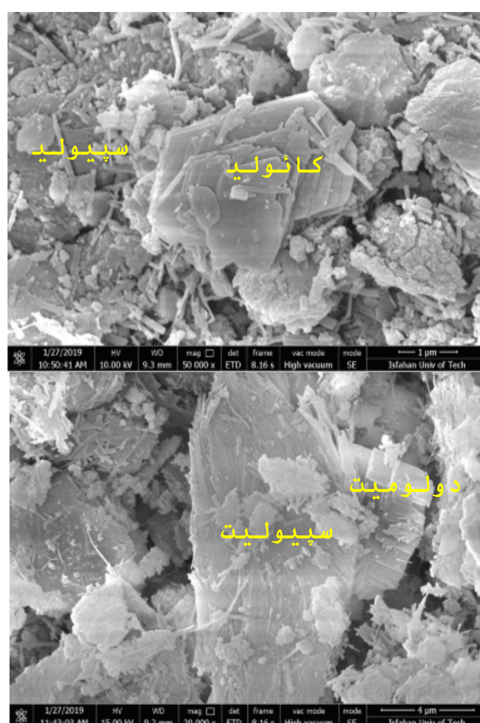
بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی ذرات رس موجود در بسترهای شامل کرم خاکی

تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی ذرات رس جدا شده از تیمارهای دارای کرم خاکی (+EW) در شکل ۳، نتایج کانی‌شناسی را به خوبی تایید می‌کند. شکل ۳ الف، ذرات با ریختار چند ضلعی ورقه ورقه که نمونه بارزی از کانی کائولینیت است را نشان می‌دهد و نتایج تجزیه عنصری به دست آمده از آن (شکل ۴) نیز وجود نسبت یک به یک سیلسیم به آلومینیوم را تایید می‌نماید. همچنین سپیولیت به صورت الیاف کوتاه و شکسته در همه قسمت‌های تصویر برداری شده دیده می‌شود.

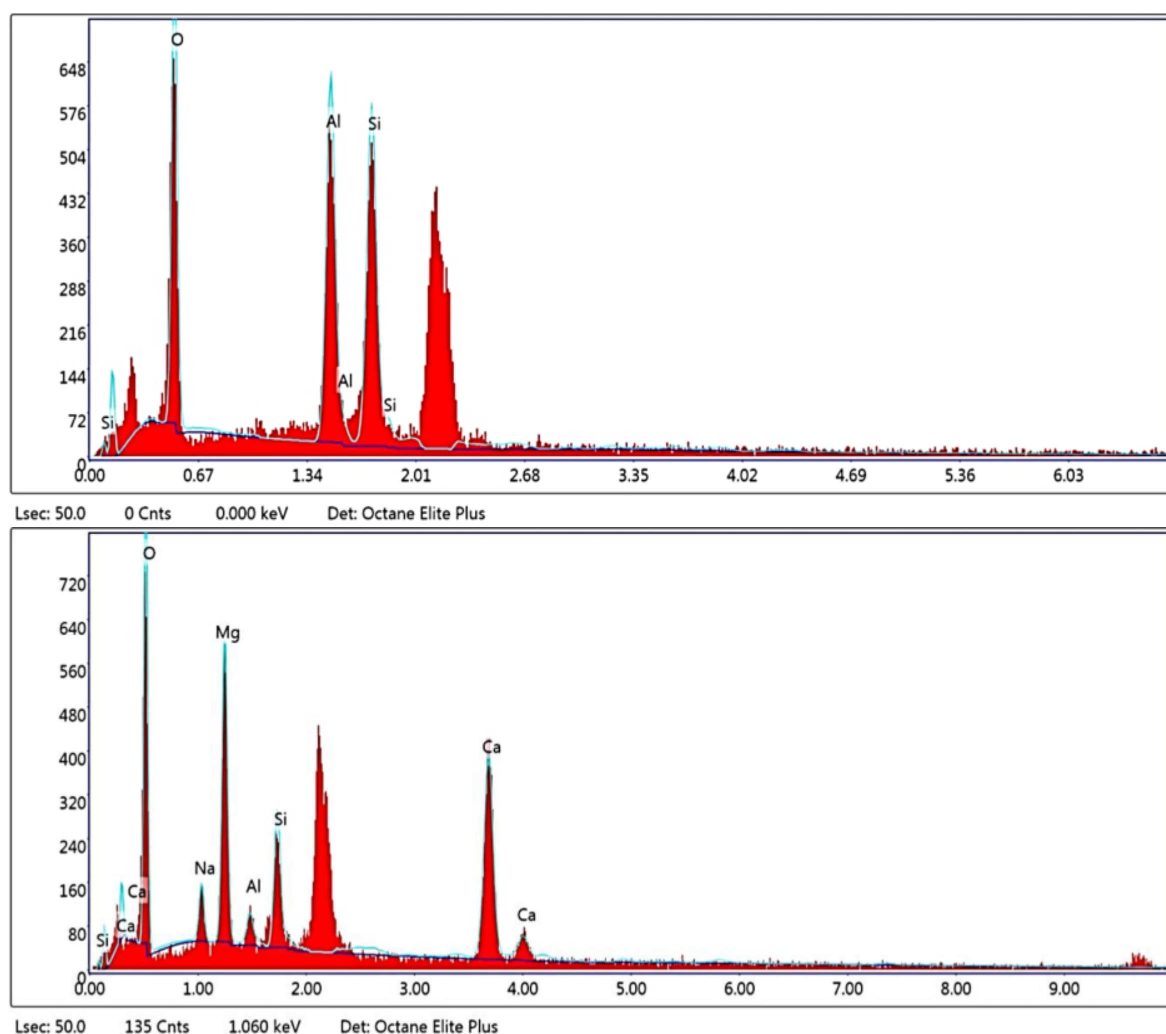
در شکل ۳ ب نیز ذرات موجود نشان دهنده کانی دولومیت است که در بررسی نتایج تجزیه عنصری (شکل ۴) با توجه به وجود کلسیم و منیزیم، حضور این کانی تایید می‌شود. در این شکل نیز الیاف سپیولیت آشکارا دیده می‌شوند.

جدول ۲ تغییرات شدت قله‌های نمونه شاهد نسبت به شدت قله‌های تیمارها.

تیمار	+EW			-EW		
	90 d	135 d	180 d	90 d	135 d	180 d
$I_{0.71(control)}/I_{0.71(sample)}$	۱/۲۱	۲/۰۸	۲/۳۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷
$I_{0.28(control)}/I_{0.28(sample)}$	۵/۴۹	۷/۴۳	۱۳/۰۳	۵/۸۳	۵/۹۳	۸/۷۵



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی از ذرات رس جدا شده از تیمارهای با کرم خاکی که نمایانگر حضور کانی کائولینیت (الف) و دولومیت (ب).



شکل ۴ تجزیه عنصری ذرات کائولینیت و دولومیت موجود در بخش رس بستر تیمار متاثر از فعالیت کرم خاکی به مدت ۱۸۰ روز (ریختار ذرات در شکل ۳ دیده می شود).

بررسی اثر کرم‌های خاکی بر برخی پارامترهای شیمیایی بستر شامل کانی سپیولیت

مقدار میانگین منیزیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک و منیزیم قابل استفاده در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) با یا بدون کرم خاکی ایزینیا فوتیدا در مقایسه با نمونه شاهد (EW/0d–) در جدول ۳ آورده شده است.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که با گذشت زمان، غلظت منیزیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش داشته است، بطوریکه کمترین و بیشترین غلظت نسبت به تیمار شاهد به ترتیب مربوط به تیمارهای EW/90d- و EW/180d+ است. در واقع این افزایش غلظت با گذشت زمان، به دلیل کاهش حجم و تجزیه ترکیبات آلی قابل پیش‌بینی بود بطوریکه در مورد تیمارهای با کرم خاکی (EW+) با توجه به تسریع این عمل، افزایش غلظت بیشتر است.

از سوی دیگر، مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار منیزیم قابل استفاده در همه تیمارها با افزایش زمان، کاهش داشته است. مقدار منیزیم قابل استفاده در نمونه‌های بدون کرم خاکی و با آن نسبت به شاهد به ترتیب ۲۱/۵۸ و ۲۷/۳۱ درصد کاهش یافته است. با توجه به نتایج کانی‌شناسی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی می‌توان چنین گفت که در واقع بیشتر منیزیم قابل استفاده در محیط بستر، رسوب (به صورت دولومیت) کرده و دیگر قابل عصاره-گیری با استات آمونیوم نیست.

جدول ۳ میانگین برخی پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در تیمارهای دارای کانی سپیولیت و کود دامی با و بدون کرم خاکی ایزینیا فوتیدا در مقایسه با نمونه شاهد

تیمارها	HNO_3-Mg (g/kg)	Available- Mg (mg/kg)
-EW/0d	۲۵/۸ d	۷۰۸۵ a
-EW/90 d	۲۸/۶ c	۶۲۷۵ b
+EW/90 d	۳۱/۲ b	۵۹۱۳ bc
-EW/ 135 d	۲۹/۳ c	۵۹۷۵ bc
+EW/ 135 d	۳۲/۴ b	۵۴۵۶ bc
-EW/ 180 d	۳۲/۰ b	۵۵۵۶ bc
+EW/ 180 d	۳۴/۱ a	۵۱۵۰ c

بطورکلی، نتایج کانی‌شناسی سپیولیت بسترهای با کرم خاکی نشان می‌دهد که کانی کائولینیت تشکیل شده و کانی دولومیت موجود در بستر اولیه نیز با گذشت زمان (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ روز) افزایش یافته است. این نتایج با تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی تراگسیلی و نتایج تجزیه عنصری آنها نیز به طور کامل تایید می‌شود. در واقع، فعالیت‌های کرم-های خاکی، ریزجانداران موجود در دستگاه گوارش کرم‌های خاکی و در کود گاوی و همچنین اسیدهای آلی تولید شده در اثر تجزیه مواد آلی باعث هوادیدگی کانی سپیولیت شده است که به احتمال بسیار به دلیل هوادیدگی سپیولییت کانی کائولینیت تشکیل شده است. از سوی دیگر، با رهاسازی منیزیم از سپیولیت و کود دامی (طی تجزیه ترکیبات آلی) و همچنین حضور کلسیم در بستر، کانی دولومیت رسوب کرده است.

از بین درشت جانداران‌های خاک زی، کرم‌های خاکی از مهمترین مولفه‌های بوم سامانه خاک هستند، زیرا نه تنها بر ساختار خاک موثرند بلکه به واسطه هوادیدگی کانی‌ها بر چرخه عناصر غذایی نیز موثر هستند [۱۷]. لیو و همکاران [۱۷] هوادیدگی کانی‌های پتاسیم‌دار توسط کرم‌های خاکی را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که کرم‌های خاکی نقش موثری در تخریب کانی‌های سیلیکاتی دارند. آنها همچنین با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری بیان داشتند که ذرات معدنی در روده کرم خاکی به صورت گلوله‌ای بوده و دیگر به شکل نامنظم نیستند. پژوهشگرانی دیگر [۱۲، ۱۳ و ۲۲] بیان داشتند که کرم‌های خاکی از طریق تخریب فیزیکی کانی‌ها باعث افزایش سطح آن‌ها و در نتیجه تسریع تخریب کانی‌ها می‌شوند.

از سوی دیگر، طی عبور مواد معدنی از دستگاه گوارش کرم خاکی، جوامع میکروبی موجود در آن نیز نقش موثری در هوادیدگی مواد معدنی ایفا می‌کنند [۱۷، ۲۳ و ۲۴]. هو و همکاران [۲۳]، نشان دادند که با تلقیح باکتری‌های شناسایی شده از روده کرم خاکی با خاک گلدان‌ها، مقدار سیلیس قابل استفاده از فلدسپات و کوارتز و نیز عملکرد گیاه ذرت افزایش یافته است. باکتری‌های سیلیکاتی با ترشح اسیدهای آلی و معدنی چون اسید مالیک، سیتریک و اگزالیک می‌توانند موجب تسریع هوادیدگی کانی‌های سیلیکاتی و آلومینوسیلیکاتی شوند [۲۵، ۲۶]. بخشنده و همکاران [۶] گزارش کردند که پس از گذشت ۱۰۰ روز از کشت گیاه سورگوم نمونه معدنی پالیگورسکیت در حضور گیاه و باکتری، هوادیده شده است. از سوی دیگر، با آنها بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری بیان کردند که در تیمارهای نمونه معدنی پالیگورسکیت در حضور گیاه و باکتری، کائولینیت به صورت ذرات شش وجهی تشکیل شده است که آن را نتیجه افزایش قدرت اسیدی ناشی از فعالیت‌های همزمان باکتری سیلیکاتی و گیاه دانستند. جعفری و همکاران [۲۷] آزادسازی منیزیم از کانی سپیولیت در اثر دو اسید آلی سیتریک و اگزالیک را بررسی کردند. نتایج ایشان بیانگر آن است که با افزایش غلظت اسیدهای آلی و زمان تماس بین اسیدهای آلی و کانی سپیولیت، میزان رهاسازی منیزیم افزایش می‌یابد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

از سوی دیگر، کارپنتر و همکاران [۱۳] به اثر لیگاندهای ترشح شده از دستگاه گوارش کرم خاکی و ریزجانداران موجود در آن بر هوادیدگی مواد معدنی توسط کرم خاکی اشاره داشتند. در این زمینه، خادمی و آروسینا [۲] نشان دادند که پالیگورسکیت و سپیولیت در محیط ریشه هوادیده شده است و با مقایسه قله‌های پراش پرتوی ایکس به دست آمده از تیمارهای مختلف به وجود کائولینیت در این تیمارها دست یافتند. ایشان همچنین گزارش کردند که فعالیت‌های لیگاندهای آلی از جمله اسیدهای هومیک و فولویک، به عنوان عوامل کی لیت ساز می‌توانند به آزادسازی منیزیم ساختاری کمک کنند که این فرآیندها سرعت بالای تشکیل کائولینیت در گلدان‌های دارای پیت در مقایسه با گلدان‌های بدون پیت را توجیه می‌کند.

همچنین در رابطه با اثر تجزیه ترکیبات آلی بر تسریع هوادیدگی مواد معدنی، بارکر و همکاران [۲۸] و کالورسو و همکارن [۲۹] بیان کردند که انجام تنفس توسط ریشه گیاهان و میکروب‌ها، با کاهش کربن آلی ذخیره‌ای و محلول می‌تواند غلظت اسید کربنیک را در سطح کانی در خاک یا آب بالا ببرد. در واقع این امر می‌تواند به افزایش نسبت هوادیدگی کانی به وسیله افزایش پروتون در سازوکار تجزیه، منجر شود [۳۰]. نادری‌زاده و همکاران [۳۱] نشان دادند که تجزیه مواد آلی و فعالیت‌های ریشه، قدرت اسیدی ریشه گاه را افزایش داده و آزادسازی پتاسیم را از کانی سه هشت وجهی فلوگوپیت تسهیل می‌کند و سرانجام باعث تبدیل این کانی به کانی ورمی‌کولیت، تا حدی اسمکتیت و نیز تشکیل جزئی کلریت می‌شود.

نتایج نشان می دهد که مقدار منیزیم قابل استفاده در همه تیمارها با گذشت زمان کاهش یافته است که نتایج کانی‌شناسی (افزایش مقدار کانی دولومیت)، این نتیجه را تایید می‌کند. هانس و پیلوا [۳۲] نیز، با بررسی ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای مختلف کود دامی به همراه ترکیبات آلی و با کرم خاکی ایزینیا فوتیدا به مدت ۵ ماه، نشان دادند که مقدار منیزیم و کلسیم قابل استفاده با گذشت زمان به ترتیب ۳۷ و ۷۲ درصدکاهش یافته است.

برداشت

نتایج این پژوهش نشان داد که در تیمارهای با کرم خاکی، کانی سپیولیت هوادیده شده و کانی جدید کائولینیت تشکیل شده است. از سوی دیگر، با توجه به کاهش مقدار منیزیم قابل استفاده و افزایش دولومیت با گذشت زمان، می‌توان گفت که نخست با توجه به هوادیدگی سپیولیت و تجزیه ترکیبات آلی، مقدار منیزیم قابل استفاده افزایش یافته و سپس منیزیم با کلسیم موجود در محیط به صورت دولومیت رسوب کرده است.

قدردانی

به این وسیله از دست اندرکاران صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به دلیل حمایت‌های مالی (طرح پژوهشی مصوب شماره ۹۶۰۰۲۳۷۸) آنها سپاسگزاریم. همچنین از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه کارتاگنا اسپانیاکه در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه قدردانی می‌نماییم.

مراجع

[1] Gobran G.R., Turpault M.P., Courchesne F., "*Contribution of rhizospheric processes to mineral weathering in forest soils*". In: Huang P.M., Gobran G.R., (Eds.) *Biogeochemisry of Trace Elements in Rhizosphere*. Elsevier B. V., Amsterdam, The Netherlands., (2005) 3–23.

[2] Khademi H., Arocena J.M., "*Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils*", Clays and Clay Minerals 56 (2008) 429-436.

[3] Khademi H., Mermut A.R., "*Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran*", Clay minerals 33 (1998) 561-578.

[4] Singer A., "*Palygorskite and sepiolite group minerals*", In: Dixon, J.B., Weed S.B., (Eds.), *Minerals in soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI, (1989) 829-872.

[5] Neaman A., Singer A., "*The effects of palygorskite on chemical and physicochemical properties of soils: a review*", *Geoderma* 123 (2003) 297-303.

[6] Bakhshandeh S., Khormali F., Dordipour E., Olamaei M., Kehl M., "*Comparing the weathering of soil and sedimentary palygorskite in the*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.10.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.675]

and surrounding substrates after being fed with mineral", Plos One 6(2011) e28803.

[18] Needham S.J., Worden R.H., Mcilroy D., "*Animal-sediment interactions: the effect of ingestion and excretion by worms on mineralogy*", Biogeosciences 1 (2004) 113-121.

[19] USDA-NRCS., "*Soil survey laboratory methods manual*". Soil Survey Investigations report, No. 42, (2004).

[20] Jackson M.L., "*Soil Chemical Analysis: Advanced Course*", University of Wisconsin, Madison, WI., (1979).

[21] Fanning D.S., Keramidas V.Z., El-Desoky M.A., "*Micas*". In: Dixon J.B., Weed S.B., (Eds.) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI, (1989) 551–634.

[22] Edwards C.A., Bohlen P.J., "*Biology and ecology of earthworms (3rd edition)*", Chapman and Hall, London., (1996)

[23] Hu L., Xia M., Lin X., Xu C., Li W., Wang J., Zeng R., Song Y., "*Earthworm gut bacteria increase silicon bioavailability and acquisition by maize*", Soil Biology and Biochemistry 125 (2018) 215-221.

[24] Liu D., Lian B., Wang B., "*Solubilization of potassium containing minerals by high temperature resistant Streptomyces sp. isolated from earthworm's gut*", Acta Geochimica 35 (2016) 262-270.

[25] Welch S.A., Vandevivere P., "*Effect of microbial and other naturally occurring polymers on mineral dissolution*", Geomicrobiology journal 12 (1994) 227-238.

[26] Welch S.A., Taunton A.E., Banfield J.F., "*Effect of microorganisms and microbial metabolites on apatite dissolution*", Geomicrobiology Journal 19 (2002) 343-367.

[27] Mohammad jafari F., Landi A., Hojati S., Amerikhah H., "*Release of Mg from sepiolite mineral under the influence of two organic acids (in Persian)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (2015) 321-330.

[28] Barker W.W., Welch S.A., Chu S., Banfield J.F., "*Experimental observations of the effects of bacteria on aluminosilicate weathering*", American Mineralogist 83 (1998) 1551-1563.

rhizosphere zone", Applied Clay Science 54 (2011) 235-241.

[7] Salehi M.H., Tahamtani L., "*Magnesium uptake and palygorskite transformation abilities of wheat and oat*", Pedosphere 22 (2012) 834-841.

[8] Lucas Y., "*The role of plants in controlling rates and products of weathering: importance of biological pumping*", Annual Review of Earth and Planetary Science 29 (2001) 135-163.

[9] Suthar S., "*Earthworm communities a bioindicator of arable land management practices: A case study in semiarid region of India*", Ecological indicators 9 (2009) 588-594.

[10] Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Pérès G., Tondoh J.E., Cluzeau D., "*A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services* ", European Journal of Soil Science 64(2013) 161-182.

[11] Christensen O., Mather J.G., "*Dynamics of lumbricid earthworm cocoons in relation to habitat conditions at three different arable sites*", Pedobiologia 34 (1990) 227-238.

[12] Suzuki Y., Matsubara T., Hoshino M., "*Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae*", Geoderma 112 (2003) 131-142.

[13] Carpenter D., Hodson M.E., Eggleton P., Kirk C., "*Earthworm induced mineral weathering: preliminary results*", European Journal of Soil Biology 43 (2007) S176-S183.

[14] Hodson M.E., Blackb S., Brinzac L., Carpenter D., Lambkine D.C., Fred J., Mosselmansc W., Palumbo-Roef B., Schofieldg P.F., Sizmurh T., Versteegh E.A.A., "*Biology as an agent of chemical and mineralogical change in soil*", Procedia Earth and Planetary Science 10 (2014) 114 – 117.

[15] Bityutskii N., Kaidun P., Yakkonen K., "*Earthworms can increase mobility and bioavailability of silicon in soil* ", Soil Biology and Biochemistry 99 (2016) 47-53.

[16] Zhu X., Lian B., Yang X., Liu C., Zhu L., "*Biotransformation of earthworm activity on potassium-bearing mineral powder*", Journal of Earth Science 24 (2013) 65-74.

[17] Liu D., Lian B., Wang B., Jiang G., "*Degradation of potassium rock by earthworms and responses of bacterial communities in its gut*

[29] Calvaruso C., Turpault M.P., Frey-Klett P., "*Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis*", Applied and Environmental Microbiology 72 (2006) 1258-1266.

[30] Basak B.B., Sarkar B., Biswas D.R., Sarkar S., Sanderson P., Naidu R., "*Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: challenges and opportunities*", Advances in Agronomy 141 (2017) 115-145.

[31] Naderizadeh Z., Khademi H., Arocena J.M., "*Organic matter induced mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite in alfalfa rhizosphere*", Geoderma 159 (2010) 96–303.

[32] Hanc A., Pliva P., "*Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste*", Journal of Material Cycles and Waste Management 15 (2013) 431-439.